

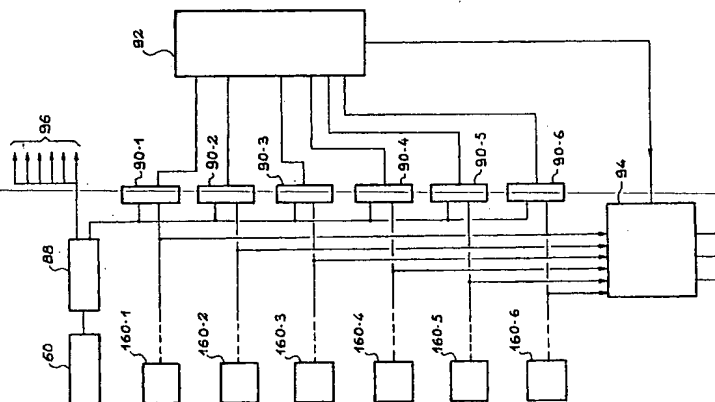
FR2755816

Processing signals from a set of photodetectors in gamma cameras - using cellular architecture
so only those photodetectors involved in a given interaction
are taken into account leading to high count rate

The method for processing the signals produced by a set of photodetectors (60), in response to an event to be detected, uses a cellular architecture (88, 90-1...90-6, 94) associated with each photodetector (60). The flux each photodetector receives can be compared with the flux of the neighbouring photodetectors (160-1..., 160-6) to determine which set of photodetectors should be taken into account for a given interaction. Characteristic quantities, e.g., energy and position of the interaction, can then be calculated.

- USE - In nuclear medicine e.g. in gamma cameras, positron emission tomography and correction of attenuation by transmission.

- ADVANTAGE - High count rate, as only the signals from those photodetectors involved in a particular event are retained. Account can be taken of 2 events produced simultaneously at different places. (Dwg. 7/15)



①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication : 2 755 816
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : 96 13670

⑤1 Int Cl⁶ : H 04 N 5/30, G 01 T 1/164, 1/208

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 08.11.96.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : 15.05.98 Bulletin 98/20.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule.*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE ETABLISSEMENT DE CARACT SCIENT TECH
ET INDUST — FR.

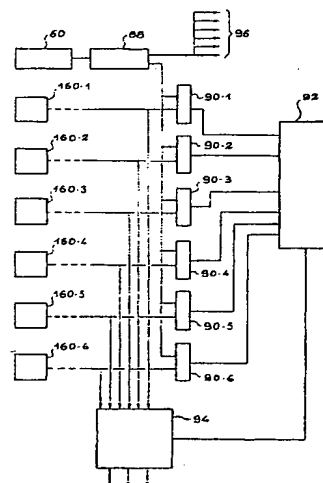
⑦2 Inventeur(s) : TOURNIER EDMOND, CHABERT
BERNARD et CHAPUIS ALAIN.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire : BREVATOME.

⑤4 PROCÉDE ET DISPOSITIF DE TRAITEMENT DES SIGNAUX D'UN ENSEMBLE DE PHOTODETECTEURS
AYANT UNE ARCHITECTURE CELLULAIRE, ET APPLICATION AUX GAMMA-CAMERAS.

⑤7 L'invention concerne un procédé de traitement de signaux produits par un ensemble de N photodétecteurs, en réponse à un événement à détecter, dans lequel une architecture cellulaire (88, 90-1, (, 90-6, 92, 94), associée à chaque photodétecteur (60), permet de comparer le flux qu'il reçoit avec les flux des photodétecteurs voisins (160-1, (, 160-6), et de déterminer quel est l'ensemble de photodétecteurs à considérer pour une interaction donnée. Des grandeurs caractéristiques de l'interaction peuvent ensuite être calculées.



FR 2 755 816 - A1



PROCEDE ET DISPOSITIF DE TRAITEMENT DES SIGNAUX D'UN
ENSEMBLE DE PHOTODETECTEURS AYANT UNE ARCHITECTURE
CELLULAIRE, ET APPLICATION AUX GAMMA-CAMERAS

5

DESCRIPTION

Domaine technique

La présente invention concerne le traitement des données ou des signaux issus de, ou émis par, un ensemble de N photodétecteurs, en réponse à un événement à caractériser ou à identifier, par exemple à localiser.

L'invention s'applique en particulier à la détermination des caractéristiques, par exemple d'énergie et de position, d'un événement à partir de signaux fournis par des photomultiplicateurs équipant une gamma-caméra ; par exemple, la position d'un événement est repérée par rapport aux photomultiplicateurs eux-mêmes. On entend par gamma-caméra une caméra sensible au rayonnement gamma (γ). De telles caméras sont utilisées notamment à des fins d'imagerie médicale.

Etat de la technique antérieure

A l'heure actuelle, la plupart des gamma-caméras utilisées en médecine nucléaire sont des caméras fonctionnant selon le principe des caméras de type Anger. On peut se reporter à ce sujet au document US-3 011 057.

Les gamma-caméras permettent en particulier de visualiser la répartition, dans un organe, de molécules marquées par un isotope radioactif préalablement injecté au patient.

La structure et le fonctionnement d'une gamma-caméra connue sont exposés et résumés ci-après en référence aux figures 1, 2A et 2B annexées.

La figure 1 montre une tête de détection 10 d'une gamma-caméra disposée en face d'un organe 12 contenant des molécules marquées par un isotope radio-actif.

La tête de détection 10 comporte un collimateur 20, un cristal scintillateur 22, un guide de lumière 24 et une pluralité de tubes photomultiplicateurs 26 juxtaposés de façon à couvrir une face du guide de lumière 24. Le scintillateur est, par exemple, un cristal de NaI(Tl).

Le collimateur 20 a pour fonction de sélectionner parmi tous les rayonnements gamma 30 émis par l'organe 12 ceux qui atteignent la tête de détection sensiblement sous incidence normale. Le caractère sélectif du collimateur permet d'augmenter la résolution et la netteté de l'image produite. Cependant, l'augmentation de la résolution se fait au détriment de la sensibilité. A titre d'exemple, pour environ 10000 photons γ émis par l'organe 12, un seul photon est effectivement détecté.

Les photons γ ayant traversé le collimateur atteignent le cristal scintillateur 22 où quasiment chaque photon γ est converti en une pluralité de photons lumineux. Dans la suite du texte on désigne par événement chaque interaction d'un photon gamma avec le cristal, provoquant une scintillation.

Les photomultiplicateurs 26 sont conçus pour émettre une impulsion électrique proportionnelle au nombre de photons lumineux reçus du scintillateur pour chaque événement.

Pour qu'un événement de scintillation puisse être localisé plus précisément, les photomultiplicateurs 26 ne sont pas directement accolés au cristal scintillateur 22 mais sont séparés de ce dernier par le guide de lumière 24.

Les photomultiplicateurs émettent un signal dont l'amplitude est proportionnelle à la quantité totale de lumière produite dans le scintillateur par un rayonnement gamma, c'est-à-dire proportionnelle à son énergie. Toutefois, le signal individuel de chaque photomultiplicateur dépend aussi de la distance qui le sépare du point d'interaction 30 du rayonnement gamma avec la matière du scintillateur. En effet, chaque photomultiplicateur délivre une impulsion de courant proportionnelle au flux lumineux qu'il a reçu. Dans l'exemple de la figure 1, des petits graphiques A, B, C montrent que des photomultiplicateurs 26a, 26b et 26c situés à différentes distances d'un point d'interaction 30 délivrent des signaux avec des amplitudes différentes.

La position du point d'interaction 30 d'un photon gamma est calculée dans la gamma-caméra à partir des signaux provenant de l'ensemble des photomultiplicateurs en effectuant une pondération barycentrique des contributions de chaque photomultiplicateur.

Le principe de la pondération barycentrique tel qu'il est mis en oeuvre dans les caméras de type Anger apparaît plus clairement en se reportant aux figures 2A et 2B annexées.

La figure 2A montre le câblage électrique d'une tête de détection 10 d'une gamma-caméra, qui relie cette caméra à une unité de formation d'une image. La

tête de détection comporte une pluralité de photomultiplicateurs 26.

Comme le montre la figure 2B, chaque photomultiplicateur 26 de la tête de détection est associé à quatre résistances notées RX^- , RX^+ , RY^- et RY^+ . Les valeurs de ces résistances sont propres à chaque photomultiplicateur et dépendent de la position du photomultiplicateur dans la tête de détection 10.

Les résistances RX^- , RX^+ , RY^- et RY^+ de chaque photomultiplicateur sont reliées à la sortie 50 dudit photomultiplicateur, représentée sur la figure 2B avec un symbole de générateur de courant. Elles sont d'autre part respectivement reliées à des lignes collectrices communes notées LX^- , LX^+ , LY^- , LY^+ , sur la figure 2A.

Les lignes LX^- , LX^+ , LY^- et LY^+ sont à leur tour reliées respectivement à des intégrateurs analogiques $52X^-$, $52X^+$, $52Y^-$, $52Y^+$, et, par l'intermédiaire de ceux-ci à des convertisseurs analogiques/numériques $54X^-$, $54X^+$, $54Y^-$, $54Y^+$. La sortie des convertisseurs $54X^-$, $54X^+$, $54Y^-$, $54Y^+$ est dirigée vers un opérateur numérique 56. Les lignes LX^- , LX^+ , LY^- , LY^+ sont par ailleurs reliées à une voie commune, dite voie énergie. Cette voie comporte également un intégrateur 57 et un convertisseur analogique/numérique 58 et sa sortie est aussi dirigée vers l'opérateur 56.

Grâce au dispositif de la figure 2, on calcule la position de l'interaction selon les équations suivantes (US-4 672 462) :

$$X = \frac{X^+ - X^-}{X^+ + X^-}$$

et

$$Y = \frac{Y^+ - Y^-}{Y^+ + Y^-}$$

dans lesquelles X et Y indiquent les coordonnées selon
deux directions orthogonales de la position de
5 l'interaction sur le cristal et dans lesquelles X⁺, X⁻,
Y⁺, Y⁻ indiquent respectivement les signaux pondérés
délivrés par les intégrateurs 52X⁺, 52X⁻, 52Y⁺, 52Y⁻.

Les valeurs de X et Y de même que l'énergie
totale E du rayon gamma ayant interagi avec le cristal
10 sont établies par l'opérateur numérique 56. Ces valeurs
sont utilisées ensuite pour la construction d'une image
comme décrit, par exemple, dans le document
FR-2 669 439.

Le calcul de la position de l'interaction est
15 entaché d'une incertitude liée aux fluctuations
statistiques de Poisson du nombre de photons lumineux
et du nombre de photoélectrons produits pour chaque
événement, c'est-à-dire pour chaque photon gamma
détecté. L'écart type de la fluctuation est d'autant
20 plus faible que le nombre de photons ou de
photoélectrons est élevé. En raison de ce phénomène, il
convient de collecter la lumière le plus soigneusement
possible. La résolution spatiale intrinsèque de la
caméra est caractérisée par la largeur à mi-hauteur de
25 la distribution des positions calculées pour une même
source ponctuelle collimatée posée sur le cristal
scintillateur.

Pour des rayons gamma d'une énergie de 140 keV, la résolution est généralement de l'ordre de 3 à 4 mm.

L'énergie d'un photon gamma détecté est calculée en faisant la somme des contributions de tous les photomultiplicateurs ayant reçu de la lumière. Elle est aussi entachée d'une fluctuation statistique. La résolution en énergie de la caméra est caractérisée par le rapport de la largeur à mi-hauteur de la distribution des énergies calculées à la valeur moyenne de la distribution, pour une même source.

La résolution en énergie est généralement de l'ordre de 9 à 11% pour des rayons gamma d'une énergie de 140 keV.

Finalement, une gamma-caméra de type Anger présente l'avantage de permettre de calculer en temps réel le barycentre des signaux des photomultiplicateurs avec des moyens très simples.

En effet, le système décrit précédemment comporte un nombre limité de composants. De plus, les résistances utilisées pour injecter le signal des photomultiplicateurs dans les lignes collectrices sont très peu coûteuses.

Une telle caméra présente cependant aussi un désavantage majeur qui est un taux de comptage réduit. On entend par taux de comptage le nombre d'événements, c'est-à-dire d'interactions entre un photon γ et le scintillateur, que la caméra est capable de traiter par unité de temps.

Une des limitations du taux de comptage provient notamment du fait que la caméra est incapable de traiter deux événements ayant lieu sensiblement simultanément en des points distincts du cristal scintillateur.

En effet, des événements simultanés mais géométriquement distincts donnent naissance à des signaux électriques qui s'empilent dans les lignes collectrices LX^- , LX^+ , LY^- et LY^+ et qui ne peuvent plus
5 être distingués. Ces événements sont aussi "perdus" pour la formation d'une image.

Les gamma-caméras sont utilisées non seulement dans des techniques d'imagerie traditionnelles, mais également dans deux autres techniques d'imagerie
10 médicale où la limitation du taux de comptage est aussi une contrainte rédhibitoire.

Ces techniques sont les techniques dites de "correction d'atténuation par transmission" et de "PET (Positron Emission Tomography) en coïncidence".

15 La technique de correction d'atténuation par transmission consiste à tenir compte, lors de la formation d'une image médicale, de l'atténuation propre du tissu du patient entourant l'organe examiné. Pour connaître cette atténuation, on mesure la transmission
20 des rayonnements gamma vers une gamma-caméra à travers le corps du patient. A cet effet on fait prendre place au patient entre une source externe très active et la tête de détection de la gamma-caméra. Ainsi, lors de la mesure du rayonnement transmis, un nombre élevé
25 d'événements ont lieu dans le cristal scintillateur. Le nombre élevé d'événements par unité de temps accroît aussi la probabilité d'avoir plusieurs événements sensiblement simultanés. Une caméra de type Anger classique se révèle alors inappropriée.

30 La technique de PET consiste à injecter au patient un élément tel que F^{18} apte à émettre des positons. L'annihilation d'un positon et d'un électron libère deux photons γ émis dans des directions opposées

et ayant une énergie de 511 keV. Ce phénomène physique est mis à profit dans la technique d'imagerie PET. Dans cette technique on utilise une gamma-caméra avec au moins deux têtes de détection disposées de part et d'autre du patient. Les têtes de détection utilisées ne sont pas équipées de collimateur. En effet, un traitement électronique des informations, dit traitement de coïncidence, permet de sélectionner parmi les événements ceux qui coïncident temporellement, et de calculer ainsi la trajectoire des photons gamma.

Les têtes de détection sont donc soumises à des flux élevés de rayonnement gamma. Les gamma-caméras classiques de type Anger ont un taux de comptage généralement trop limité pour une telle application.

A titre indicatif, une gamma-caméra de type Anger peut fonctionner normalement avec une détection de 1.10^5 événements par seconde, tandis qu'en imagerie PET il faut au moins 1.10^6 événements par seconde pour un fonctionnement normal.

Une autre limitation des gamma-caméras du type Anger, décrites ci-dessus, tient au fait que le calcul du barycentre d'un événement est fixé définitivement par la construction de la tête de détection et notamment par le choix des résistances RX^- , RX^+ , RY^- , RY^+ pour chaque photomultiplicateur. De même, le calcul de l'énergie des événements est fixé par le câblage des photomultiplicateurs sur une voie commune (voie énergie).

Un dispositif classique attribue donc un événement à un photodétecteur et un seul, et prend en compte tous les signaux de tous les photodétecteurs pour le calcul de l'énergie. Or, les amplificateurs des photomultiplicateurs non concernés par un événement

ajoutent du bruit sur les lignes collectrices LX^+ , LX^- , LY^+ , LY^- .

Exposé de l'invention

5 L'invention a pour objet un procédé et un dispositif dans lesquels seule l'information, ou les signaux, issue des N_1 photodétecteurs concernés, parmi un ensemble de N photodétecteurs, par un événement, est numérisée et subit un traitement local permettant d'en
10 isoler le signal d'intensité maximum, ou d'amplitude maximale, et un certain nombre de signaux émis par les photodétecteurs voisins du photodétecteur ayant émis le signal d'intensité maximum, ou d'amplitude maximale.

Plus précisément, l'invention a pour objet un
15 procédé de traitement de signaux produits par un ensemble de N photodétecteurs en réponse à un événement à détecter, comportant :

- la comparaison, avec une valeur seuil, pour chaque photodétecteur, d'une intégrale numérique du signal
20 numérisé obtenu à partir du signal émis,
- la comparaison, pour chaque photodétecteur émettant un signal dont l'intégrale numérique dépasse ledit seuil, de l'intégrale du signal qu'il émet avec l'intégrale du signal émis avec chacun des
25 photodétecteurs voisins,
- la mémorisation de la valeur de l'intégrale maximum parmi toutes les intégrales comparées, ainsi que des intégrales des signaux émis par les photodétecteurs voisins du photodétecteur dont le signal présente
30 l'intégrale maximum.

Il est ensuite possible de produire, à l'aide des intensités mémorisées, au moins un signal

représentatif d'une grandeur caractéristique d'un événement produit devant les photodétecteurs.

Ainsi, seuls les signaux des photodétecteurs concernés par l'interaction sont mémorisés ou
5 contribuent au calcul, ou à la production d'un signal représentatif, d'une grandeur caractéristique de l'événement. Il n'est pas nécessaire de mémoriser ou de tenir compte des signaux produits par tous les photodétecteurs, car le temps de lecture entraînerait
10 une forte dégradation de la performance de taux de comptage. Chaque événement ne concernant en principe qu'un petit nombre de photodétecteurs, le procédé permet de ne retenir que ces photodétecteurs qui sont concernés par l'événement. De plus, deux événements se
15 produisant simultanément, ou quasi-simultanément, en deux endroits différents, par rapport à l'ensemble de N photodétecteurs pourront alors être pris en compte.

L'invention a également pour objet un procédé pour identifier une caractéristique d'un événement se
20 produisant devant un ensemble de N photodétecteurs, comportant :

- l'identification d'un sous-ensemble de N_1 photodétecteurs, concernés par l'interaction, c'est-à-dire ayant produit un signal en réponse à
25 l'événement,
- la production d'un signal représentatif de la caractéristique de l'événement, en fonction :
 - * du signal d'intensité maximum parmi les N_1 signaux produits par les N_1 photodétecteurs, en réponse à
30 l'événement,
 - * et des signaux émis par les photodétecteurs voisins du photodétecteur dont le signal présente l'intensité maximum parmi les N_1 photodétecteurs.

Ce second procédé permet de générer des signaux représentatifs d'une caractéristique d'un événement se produisant devant l'ensemble de N photodétecteurs, uniquement en fonction des signaux émis par les
5 photodétecteurs concernés par ledit événement. Là encore, on évite une lecture inutile de l'ensemble du champ de N photodétecteurs, lecture qui consommerait beaucoup de temps et qui réduirait le taux de comptage.

L'invention a également pour objet des
10 dispositifs permettant de mettre en oeuvre les procédés ci-dessus.

L'invention a été décrite en utilisant l'intégrale numérique comme signal représentatif de l'intensité de chaque signal provenant de chaque
15 photodétecteur.

En fait, on peut aussi utiliser, à la place de l'intégrale numérique, l'intensité au maximum du signal numérique ou du signal analogique. Cependant, l'intégrale numérique est l'information qui convient le
20 mieux à la mise en oeuvre de l'invention.

Brève description des figures

De toute façon, les caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront mieux à la
25 lumière de la description qui va suivre. Cette description porte sur les exemples de réalisation, donnés à titre explicatif et non limitatif, en se référant à des dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1, déjà décrite, est une coupe
30 schématique d'une tête de détection d'une gamma-caméra, par exemple de type Anger ;

- les figures 2A et 2B, déjà décrites, montrent de façon schématique, un dispositif de l'art antérieur,

pour la collection et le codage de signaux provenant de photomultiplicateurs de la tête de détection de la figure 1 ;

5 - les figures 3A et 3B représentent deux exemples de champs de photodétecteurs, avec des symétries différentes ;

- les figures 4, 5A et 5B représentent une partie d'un dispositif associé à un photodétecteur ;

10 - les figures 6A et 6B représentent un signal analogique fourni par un photodétecteur (figure 6A), ainsi que le signal numérique correspondant (figure 6B) ;

- la figure 7 représente un mode de réalisation de l'invention ;

15 - la figure 8 représente schématiquement un repère utilisé pour le calcul des coordonnées locales d'un événement par rapport à un champ de photodétecteurs ;

20 - les figures 9A et 9B représentent des signaux de photodétecteurs dans un cas d'événement simple et dans un cas d'empilement ;

- la figure 10 est un chronogramme pour des signaux émis dans un dispositif selon l'invention,

25 - la figure 11 est un autre mode de réalisation de l'invention ;

- les figures 12 et 13 représentent des réalisations d'éléments fonctionnels dans un dispositif selon l'invention ;

30 - les figures 14 et 15 schématisent des réalisations de composants pour un dispositif selon l'invention.

Description détaillée de modes de réalisation de l'invention

L'exemple sera pris d'un ensemble de N photodétecteurs, ou de photomultiplicateurs, d'une gamma-caméra. Le nombre N est alors sensiblement compris entre 50 et 100.

Un tel ensemble de N photodétecteurs est de préférence un réseau bi-dimensionnel de photodétecteurs, par exemple un réseau bi-dimensionnel de photomultiplicateurs.

Des exemples de réseaux bi-dimensionnels de photodétecteurs sont illustrés sur les figures 3A et 3B. Plus précisément, ces figures représentent, dans chaque cas, une position d'un réseau de photodétecteurs en vue de dessus (ou, en d'autres termes, si l'on se reporte à la figure 1, vue à partir du scintillateur 22). La section transversale d'un photodétecteur peut avoir diverses formes, par exemple carrée, hexagonale ou circulaire.

La figure 3A représente, en vue de dessus, un champ mixte de photodétecteurs hexagonaux et ronds. Les photodétecteurs à section hexagonale sont disposés en nid d'abeilles.

La figure 3B correspond à un champ de photodétecteurs, en vue de dessus, chaque photodétecteur ayant une section carrée.

Lorsqu'un événement se produit face au champ de photodétecteurs, cet événement émettant un rayonnement dans une gamme spectrale correspondant à celle des photodétecteurs, un certain nombre de photodétecteurs vont émettre des signaux. Sur la figure 3A, on a représenté les ensembles de photodétecteurs concernés, c'est-à-dire émettant des signaux, pour deux événements

se produisant à des endroits différentes par rapport au champ de photodétecteurs. Un premier événement se produit face au photodétecteur 60 et celui-ci produit un signal. En réponse à cet événement, les
5 photodétecteurs voisins du photodétecteur 60 produisent également un signal : il s'agit, sur la figure 3A, des photodétecteurs 160 de première couronne (en traits hachurés moyennement serrés), immédiatement voisins du photodétecteur 60, et des photodétecteurs 260 (en
10 traits hachurés espacés), dits de deuxième couronne autour du photodétecteur 60. Au-delà, les signaux émis par les autres photodétecteurs sont en général négligeables. De même, un événement se produisant face au photodétecteur 61 entraîne une émission de signaux
15 par le photodétecteur 61, mais aussi par les photodétecteurs de sa première couronne 161 (en traits hachurés moyennement serrés) et par les photodétecteurs 261 de sa deuxième couronne (en traits hachurés espacés).

20 Sur la figure 3B, un événement se produisant face à un photodétecteur 63 produit également un signal dans les photodétecteurs voisins 163 (de première couronne) et dans les photodétecteurs 263 (de deuxième couronne) autour du photodétecteur 63.

25 La figure 4 est une vue partielle d'un dispositif de traitement du signal d'un photodétecteur. Elle ne représente qu'un seul canal d'un tel dispositif, c'est-à-dire la partie du dispositif associée à un unique photodétecteur 60. Des canaux
30 similaires sont associés aux autres photodétecteurs, en particulier aux photodétecteurs de première et deuxième couronnes qui entourent le photodétecteur 60. Le photodétecteur 60 est relié à un convertisseur courant-

tension 62. En réponse à un événement détecté, on obtient sur la sortie 64 du convertisseur 62 un signal, par exemple du type de celui qui est illustré sur la figure 6A.

5 Le graphique de la figure 6A indique, en ordonnées, l'amplitude du signal correspondant à l'impulsion et, en abscisses, le temps. L'amplitude du signal et le temps sont indiqués en échelles arbitraires. t_0 désigne l'instant de départ de
10 l'impulsion fournie par le photodétecteur, et t_1 l'instant où l'impulsion redevient quasiment nulle, après être passée par un maximum. A titre indicatif, la durée correspondant à l'intervalle $t_1 - t_0$ est de l'ordre d'une microseconde, dans le cas d'un
15 photomultiplicateur d'une gamma-caméra couplé à un cristal de NaI(Tl).

 Le signal analogique présent sur la borne de sortie 64 est dirigé vers un convertisseur analogique-numérique 66. Ce dernier échantillonne
20 chaque impulsion du signal en un certain nombre d'échantillons n , comme illustré sur la figure 6B. Deux échantillons consécutifs sont séparés par un pas, ou intervalle d'horloge p (l'horloge fonctionnant à $1/p$ Hz).

25 A titre d'exemple, le convertisseur échantillonne chaque impulsion du signal en $n = 10$ échantillons. Pour un signal de 1 microseconde, un échantillonnage est alors effectué toutes les 100 nanosecondes.

30 Le convertisseur analogique-numérique 66 est, de préférence, un convertisseur rapide, de type « flash » pouvant fonctionner à une fréquence de l'ordre de 10 à 20 mégahertz.

Le signal numérique issu du convertisseur analogique-numérique 66 dirigé vers un intégrateur numérique 68 (composé d'un registre à décalage à N bascules et d'un sommateur). Cet intégrateur effectue
5 une somme glissante des échantillons qui lui sont transmis par le convertisseur analogique-numérique 66. La somme glissante est effectuée sur un nombre donné d'échantillons. Ce nombre prédéterminé est égal, par exemple, à 10.

10 Le signal représentatif de la valeur du signal codé (en sortie de 66) est dirigé vers des moyens 70 aptes à détecter la présence d'un événement.

La figure 5A représente une réalisation de la détection des événements en détectant le passage du
15 signal codé par un maximum et en le validant lorsque ce signal est au-dessus d'un seuil prédéterminé. La sortie du codeur analogique numérique 66 est connectée à une des entrées d'un comparateur 702. A la seconde entrée 701 est appliquée une valeur numérique prédéterminée
20 VP. Ce comparateur émet en sortie un signal 703 égal à 0 si la valeur codée est inférieure à VP et 1 si la valeur codée est supérieure à VP. Le signal 703 est connecté à une des entrées d'un ET 704.

La sortie codée est aussi connectée à une des
25 entrées 705 d'un deuxième comparateur 708 et à l'entrée du registre 706 qui retarde la valeur codée d'un pas d'horloge. La sortie 707 de ce registre est connectée à la deuxième entrée 707 du comparateur 708. Ce comparateur émet une impulsion 709 égale à 1 lorsqu'il
30 voit pour la première fois l'entrée 707 (qui représente la valeur codée à l'instant $t-1$) supérieure à l'entrée 705 (qui représente la valeur codée à l'instant t). La sortie 709 est égale à 0 dans les autres cas. Cette

sortie 709 est connectée à la deuxième entrée du circuit ET, 704. Le signal 710 de sortie du ET représente l'instant de passage du signal codé par un maximum quand le signal codé est supérieur à VP. Le signal 710 est connecté à l'entrée d'un circuit de décalage 712 qui le retarde d'un certain nombre de pas d'horloge. Ce nombre est réglé de telle façon que l'impulsion à sa sortie soit synchrone de l'instant où la valeur de sortie du sommateur glissant 68 est égale à l'intégrale du signal détecté.

La figure 5B représente une réalisation du sommateur glissant 68 qui réalise l'intégration de l'événement. Le signal codé en sortie du convertisseur analogique-numérique est dirigé vers un registre à décalage 682 dont le nombre d'étages représente la durée d'intégration. La sortie du registre à décalage 682 est connectée à l'entrée soustractrice d'un soustracteur 684 tandis que l'entrée positive est connectée au signal codé. La sortie du soustracteur est envoyée sur un accumulateur 686. La sortie de l'accumulateur 686 représente l'intégrale de l'événement lorsque le circuit 712 délivre son impulsion.

L'ensemble des moyens, associé à un photodétecteur, et décrit ci-dessus en liaison avec la figure 4 est désigné par la référence 88. A chaque photodétecteur est associé un tel ensemble de moyens.

Chaque photodétecteur compare ensuite la valeur de son intégrale numérique avec celle des photodétecteurs voisins. Un dispositif pour réaliser cette comparaison est représenté sur la figure 7. Sur cette figure, les photodétecteurs voisins, dits de première couronne, sont représentés schématiquement par

les références 160-1, ..., 160-6. A chacun de ces photodétecteurs est associé un ensemble de moyens équivalent aux moyens 88 associés au photodétecteur 60. L'intégrale numérique correspondant au signal délivré par le photodétecteur 60 est comparée avec l'intégrale numérique du signal délivré par chacun des photodétecteurs 160-1, ..., 160-6, et ceci à l'aide de moyens de comparaison, ou comparateurs 90-1, ..., 90-6. Les comparateurs travaillent en permanence (à chaque pas de codage) et fournissent un résultat de comparaison qui prend la valeur 1 lorsque la valeur de l'intégrale courante du photodétecteur 60 est plus grande que l'intégrale courante du photodétecteur voisin auquel il est comparé, et la valeur 0 dans le cas contraire. Les 6 résultats de comparaison sont envoyés vers un dispositif 92 (figure 7) composé d'un circuit ET à 6 entrées, qui délivre un signal égal à 1 lorsque tous les résultats de comparaison sont égaux à 1, c'est-à-dire lorsque la valeur de l'intégrale courante du photodétecteur 60 est plus grande que celle de tous ses voisins. La sortie du circuit ET est une première condition qui permet de valider, ou non, le signal EVT (ou demande de stockage DMDS) fourni par le circuit 712 (figure 5A), et qui résulte de la détection d'un maximum sur le signal codé.

Une fois ces valeurs mémorisées, des moyens, qui peuvent être intégrés à l'ensemble 94, peuvent permettre de calculer toute grandeur caractéristique de l'événement. Ainsi, il est possible de calculer l'énergie totale de l'événement : pour cela, la somme

$$E = \sum_{i=0}^6 E_i \text{ de toutes les intégrales numériques } E_i$$

correspondant au photodétecteur principal 60 et aux photodétecteurs voisins 160-1, ..., 160-6 est réalisée.

Il est également possible de calculer, ou d'estimer, les coordonnées locales de l'événement, par rapport au champ de N photodétecteurs, par exemple par des formules de type :

$$X = \frac{\sum_{i=0}^6 E_i X_i d}{\sum_{i=0}^6 E_i} \quad (1)$$

$$Y = \frac{\sum_{i=0}^6 E_i Y_i \ell}{\sum_{i=0}^6 E_i} \quad (2)$$

10

où :

- d représente la distance séparant deux photodétecteurs adjacents sur l'axe des X (entre les centres de ces deux photodétecteurs),
- 15 - l est la distance séparant deux photodétecteurs adjacents sur l'axe des Y,
- et où les coordonnées des photodétecteurs 160-1, ..., 160-6 sont repérées par leur centre sous la forme (X_i, Y_i) avec $X_i \in \{-1, 0, 1\}$ et $Y_i \in \{-1, 0, 1\}$, dans un repère orthogonal (O, i, j) tel qu'illustré sur la figure 8, où O représente le milieu du photodétecteur central 60, i le vecteur unitaire suivant l'axe des X, et j le vecteur unitaire suivant l'axe des Y.

La grandeur caractéristique de l'événement, une fois calculée, peut être ensuite transmise à l'extérieur.

Parallèlement aux comparaisons effectuées à l'aide des comparateurs 90-1, ..., 90-6, la valeur de l'intégrale numérique du photodétecteur 60 est transmise à un ensemble de comparateurs, dont chacun
5 est associé à un des photodétecteurs périphériques 160-1, ..., 160-6, le photodétecteur 60 étant alors traité comme photodétecteur de première couronne pour les autres photodétecteurs. Ainsi, à chaque photodétecteur de l'ensemble du champ de N
10 photodétecteurs est associé un dispositif du type de celui qui est illustré ci-dessus sur la figure 7, y compris un dispositif de mémorisation 94 et, éventuellement de calcul.

Du fait des comparaisons effectuées dans les
15 comparateurs associés à chaque photodétecteur, c'est-à-dire du fait des comparaisons effectuées localement, c'est bien le photodétecteur produisant un signal, d'intensité ou d'énergie, maximale qui est considéré comme photodétecteur "central" pour l'événement, ses
20 photodétecteurs voisins étant alors considérés comme photodétecteurs de première couronne pour l'événement ; de même, c'est bien alors l'intégrale numérique de ce photodétecteur central qui est stockée ou mémorisée en tant que signal "principal", tandis que les intégrales
25 numériques correspondant aux photodétecteurs de première couronne sont stockées ou mémorisées dans les autres registres, et correspondent à des valeurs secondaires, chacune étant inférieure à la valeur de l'intégrale numérique associée au photodétecteur
30 central ou principal.

Les procédés et dispositifs décrits ci-dessus sont ceux d'une "architecture cellulaire", qui permet aux photodétecteurs de comparer entre eux les flux

lumineux qu'ils reçoivent, et de déterminer lesquels, parmi eux, sont concernés par l'interaction. Un tel procédé permet d'améliorer la performance de taux de comptage des photodétecteurs, grâce au traitement local
5 d'une information numérisée.

En outre, deux événements se produisant simultanément, en deux endroits suffisamment distincts l'un de l'autre, peuvent être pris en compte. Là encore, ceci permet d'accroître le taux de comptage.

10 En ce qui concerne le calcul de la, ou des, caractéristique(s) de l'événement, une fois que le photodétecteur central et les photodétecteurs voisins ont été identifiés, deux possibilités sont disponibles.

Selon la première, les calculs des
15 caractéristiques (par exemple : énergie, position) sont effectués au niveau local, c'est-à-dire, dans le cas de la figure 7, à l'intérieur même du dispositif 94 associé au photodétecteur 60. Les résultats des calculs sont ensuite dirigés, par un bus commun à tous les
20 photodétecteurs vers des moyens de collecte et d'exploitation extérieurs, par exemple un microprocesseur d'un micro-ordinateur. C'est le procédé qui a été décrit ci-dessus.

Selon une deuxième méthode, les calculs sont
25 effectués à l'extérieur de l'ensemble des architectures cellulaires des photodétecteurs. Dans ce cas, toutes les valeurs mémorisées dans les moyens de mémorisation 94 sont transférées vers un organe de calcul externe, non représenté sur les figures.

30 En termes de taux de comptage, c'est-à-dire de nombres d'événements traités par seconde, la première possibilité est avantageuse, du fait que seules les grandeurs caractéristiques associées à l'événement sont

à transférer vers l'extérieur, au lieu de toutes les intégrales numériques des photodétecteurs concernés. En outre, il y a alors un système de calcul par photodétecteur.

5 La seconde possibilité offre l'avantage de n'être pas figée dans les grandeurs à calculer, et de pouvoir modifier, pour une grandeur donnée, la méthode de calcul. Cette seconde possibilité, qui peut être réalisée avec un système programmable (DSP, 10 microprocesseurs, opérateurs dédiés, etc...) est plus souple, d'autant qu'il est alors possible de regagner en taux de comptage en multipliant les moyens de transfert et de calcul.

Des aspects particuliers de l'invention 15 permettent de tenir compte des problèmes éventuels posés par les événements saturants et/ou par les empilements.

Les événements saturants sont des événements de très grande énergie, par exemple des rayons cosmiques, 20 qui peuvent traverser le détecteur en provoquant en sortie une impulsion saturante dont la durée peut être très longue par rapport à celle des signaux utiles. Afin d'éviter ces problèmes, l'événement détecté est invalidé dès qu'un échantillon du signal digitalisé 25 correspondant atteint un certain niveau dynamique, par exemple le niveau maximum (255 si cas de codage sur 8 bit).

Un empilement correspond à la coïncidence de deux événements simultanés ou quasi-simultanés 30 (séparés, dans le cas d'une gamma-caméra, par exemple par moins de 1 μ s) et proches l'un de l'autre, c'est-à-dire espacés au plus par deux couronnes de photodétecteurs.

La figure 9B donne l'allure du signal résultant d'un empilement : les formes d'ondes s'additionnent.

Considérons un événement simple d'amplitude maximale (figure 9A). Soit t_3 l'instant où le signal passe au-dessus d'un seuil S et t_4 l'instant où le signal repasse sous le seuil. Posons $\Delta T = t_4 - t_3$.

Considérons maintenant un événement quelconque. Soit t_3' l'instant où le signal passe au-dessus du seuil. L'événement sera considéré comme valide si, à l'instant $t_3' + \Delta T$, le signal est au seuil S ou en-dessous du seuil S . Ceci sera vrai pour un événement simple d'amplitude moindre ; par contre en cas d'empilement (figure 9B), le signal ne repassera au niveau S qu'à $t_3' + \Delta T'$ et sera au-dessus du seuil à $t_3' + \Delta T$, puisque $\Delta T' > \Delta T$. Dans un tel cas, également, l'événement détecté est invalidé.

Pour éviter tous ces problèmes de saturation ou d'empilements, on repère l'instant de franchissement du seuil S par le signal. Dès le seuil franchi, un compteur se déclenche. Si n coups d'horloge plus tard, n étant fixé et correspondant à la durée ΔT , l'échantillon est supérieur au seuil, alors l'événement est invalidé : un signal de validité (VAL) prend la valeur "0". ΔT et S sont fixés en fonction du type d'événement à détecter.

On peut choisir que, si le signal d'un photodétecteur est invalidé, il le reste pendant un certain temps, par exemple 1 μs .

Il a été expliqué ci-dessus comment tenir compte, pour le calcul d'une caractéristique d'un événement, des photodétecteurs de première couronne

(photodétecteurs 160, 161 sur la figure 3A) autour du photodétecteur principal.

Il peut être important de prendre également en compte les photodétecteurs de deuxième couronne.

5 A cette fin, dès qu'un photodétecteur est retenu en tant que photodétecteur central (c'est-à-dire que son signal est le plus grand et que, si un test de validité est réalisé, il est valide), les moyens 92 émettent un signal "wevt" vers le système de stockage
10 local 94 et vers les systèmes de stockage des photodétecteurs de première couronne indiquant qu'il faut retenir l'événement, c'est-à-dire qu'il faut stocker les valeurs des intégrales et éventuellement calculer les grandeurs caractéristiques de l'événement.
15 Un tel signal est envoyé de manière synchrone à un coup d'horloge.

Comme, par ailleurs, un signal d'événement "evt" est émis sur le coup d'horloge précédent, le schéma temporel résultant est celui de la figure 10.

20 Après que le signal "wevt" ait été transmis aux voisins de la première couronne, ceux-ci transmettent la valeur de deux intégrales de photodétecteurs de deuxième couronne à la mémoire 94 du photodétecteur central (figure 7).

25 Une fois mémorisées les valeurs des intégrales numériques des photodétecteurs de première et de deuxième couronnes, ces valeurs peuvent être transmises vers l'extérieur, pour un calcul extérieur de grandeurs du type énergie ou position de l'événement.

30 Ou bien, conformément à ce qui a déjà été expliqué ci-dessus, les grandeurs sont calculées par les moyens 94 eux-mêmes et ensuite transmises à l'extérieur.

L'une et l'autre de ces possibilités présentent chacune des avantages qui ont déjà été indiqués précédemment.

Le calcul de l'énergie se fera par exemple en
5 appliquant la formule :

$$E = \sum_{i=1}^{19} E_i$$

(où $i=1, \dots, 19$, désigne les 19 valeurs d'intégrales numériques à prendre en compte pour un système à structure hexagonale).

10 Le calcul de la position se fera par exemple en appliquant les formules suivantes, semblables aux formules (1) et (2) déjà présentées :

$$X = \frac{\sum_{i=1}^{19} X_i E_i}{\sum_{i=1}^{19} E_i} \quad (3)$$

$$15 \quad Y = \frac{\sum_{i=1}^{19} Y_i E_i}{\sum_{i=1}^{19} E_i} \quad (4)$$

X_i et Y_i repèrent les coordonnées des photodétecteurs de première et de deuxième couronnes dans un repère du type de celui de la figure 8 : $X_i \in \{-2, -1, 0, 1, 2\}$; $Y_i \in \{-4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4\}$.

20

La figure 11 représente un autre mode de réalisation d'un dispositif électronique 170 associé à un photodétecteur 60. Un tel dispositif est associé par ailleurs à chacun des autres photodétecteurs.

Une horloge unique est appliquée à tous les photodétecteurs et définit le pas p de codage.

Un tel dispositif comporte d'abord un premier ensemble fonctionnel 188 qui réalise les fonctions
5 suivantes, déjà décrites ci-dessus : conversion courant-tension, digitalisation du signal issu du photodétecteur, intégration, détection du passage du signal par un maximum. De plus, un signal DMDS (équivalent au signal EVT du mode de réalisation
10 précédent) de demande de stockage est généré à chaque détection d'un maximum et synchronisé avec l'intégrale du signal concerné disponible.

En outre, cet ensemble fonctionnel peut assurer les fonctions de test de vraisemblance de forme de
15 l'impulsion par analyse de l'amplitude ou de la durée au-dessus d'un seuil, comme expliqué plus haut.

Lors de chaque pas de codage, le dispositif 170 transmet aux dispositifs correspondants des photodétecteurs 160-1, ..., 160-6 voisins les données
20 suivantes :

- 1 - la valeur de l'intégrale courante $DATA_0$,
- 2 - un signal de validité (signal VAL_0) émis lorsque les deux conditions suivantes sont remplies :
 - * le dispositif 170 est apte à recevoir un ordre
25 de stockage (registre de stockage 194 disponible),
 - * le signal $DATA_0$ qu'il transmet à ses voisins est correct (signal testé VRAI),
- 3 - un signal de décision de stockage (signal DS_0) dont l'élaboration est expliquée par la suite.

30 En retour, le dispositif 170 reçoit donc de chacun des voisins 106-1, ..., 160-6 de première couronne :

- 1 - l'intégrale courante $DATA_i$ ($i=1, \dots, 6$),

- 2 - un signal de validité VAL_i ($i=1, \dots, 6$),
- 3 - un signal de décision de stockage DS_i ($i=1, \dots, 6$),
équivalent au signal WEVT du mode de réalisation
précédent.

5 Ainsi, à chaque pas de codage, le dispositif
170 associé au photodétecteur 60 peut comparer la
valeur courante $DATA_0$ avec celle de ses voisins et se
déterminer comme étant le plus grand ou non. Lorsqu'à
un instant donné un événement est détecté (passage du
10 signal codé par un maximum, supérieur à un seuil), et
lorsque l'intégrale numérique de cet événement est
disponible, le dispositif fait une demande de
stockage : un signal DMDS est émis vers un dispositif
de génération de décision de stockage 192 (équivalent
15 au dispositif 92 déjà décrit ci-dessus).

Cette demande est confirmée si, à cet instant :

- 1 - la valeur de l'intégrale du photodétecteur 60, qui
demande le stockage, est plus grande que la valeur
de l'intégrale de chaque voisin de première
20 couronne,
- 2 - le critère de validité (signaux VAL_0 et VAL_i , $i=1-6$)
est rempli pour le photodétecteur demandeur ainsi
que pour ses voisins de première couronne.

Lorsque ces conditions sont réunies, la demande
25 de stockage est validée (signal DS_0). Elle est alors
effective dans le photodétecteur demandeur et transmise
à ses voisins de première couronne par l'intermédiaire
du signal "décision de stockage" DS_0 .

Ceci a pour effet :

- 30 1 - dans le dispositif 170, de stocker en mémoire 194,
la valeur $DATA_0$ de l'intégrale courante du
photodétecteur 60 et les intégrales $DATA_i$ ($i=1-6$) de
ses voisins de première couronne,

2 - dans chaque dispositif électronique associé à chacun des photodétecteurs voisins (de première couronne) de stocker la valeur courante des intégrales de deux de ses propres photodétecteurs voisins de première
5 couronne (qui sont, pour certains, des photodétecteurs de deuxième couronne du photodétecteur demandeur) choisis de telle façon que toutes les valeurs courantes des photodétecteurs de deuxième couronne du photodétecteur demandeur soient
10 récupérées.

Lorsque cette opération est effectuée, le système se trouve dans l'état suivant :

- le registre de stockage 194 du photodétecteur demandeur 60 dispose de la valeur de sa propre
15 intégrale numérique et de la valeur de l'intégrale des photodétecteurs voisins de première couronne,
- les registres des photodétecteurs voisins de première couronne disposent chacun de deux valeurs d'intégrale de photodétecteurs de deuxième couronne.

20 On peut préciser de la manière suivante le rôle des entrées DS_i sur le dispositif 194 :

- sur le photodétecteur demandeur il ne peut pas y avoir de DS_i actifs au moment où le photodétecteur demandeur envoie une décision de stockage car les
25 intégrales des photodétecteurs de première couronne sont plus petites que celles du photodétecteur central,
- sur les photodétecteurs de première couronne, DS_i sert à stocker la valeur de deux intégrales de
30 deuxième couronne.

Ainsi pour des photodétecteurs hexagonaux, ou ronds, arrangés en nid d'abeilles (cas de la figure 3A), le registre de stockage du photodétecteur

demandeur 60 aura stocké sept valeurs ; chacun de ses six photodétecteurs de première couronne stocke deux valeurs, soit en tout dix-neuf valeurs. De même pour des photodétecteurs carrés (figure 3B), le photodétecteur demandeur aura stocké neuf valeurs, et chacun de ses huit voisins deux valeurs, soit en tout vingt-cinq valeurs.

Ceci est vrai pour les photodétecteurs demandeurs ayant une première et une deuxième couronnes complètes. Pour garder la modularité du circuit, lorsque les photodétecteurs n'ont pas tous leurs voisins (sur les bords du champ), les entrées des photodétecteurs manquants seront fixées à zéro.

Des moyens 196 de type séquenceur permettent de réaliser la gestion des transferts et du calcul et de donner aux moyens 198, de génération d'un signal d'occupation, un signal de fin d'utilisation du stockage.

Les moyens de multiplexage 171 sont pilotés par la fonction 196 "gestion des transferts" et assurent la fonction suivante. Lorsqu'une décision de stockage a été effectuée les photodétecteurs de première couronne ont mémorisé la valeur de deux photodétecteurs de deuxième couronne. Pour transférer ces valeurs vers le photodétecteur demandeur on va utiliser, pour diminuer le nombre de liaisons entre photodétecteurs, le bus de sortie DATA de chaque photodétecteur de première couronne et remplacer la valeur de l'intégrale courante successivement par les deux valeurs à transmettre. Le photodétecteur demandeur va ainsi recevoir sur des entrées DATA_a à DATA_f les valeurs des photodétecteurs de deuxième couronne. Il les stocke à côté de celles qu'il avait déjà.

Les moyens 192 de génération de décision de stockage peuvent être réalisés de la manière décrite en figure 12.

Les moyens 198 de génération d'un signal "occupation" peuvent avoir la forme illustrée en figure 13, où la référence 193 désigne une bascule de type D avec preset.

La sortie occupation est mise à l'état logique (VRAI) par l'une des sept entrées décision de stockage. Cet état est maintenu jusqu'à ce que les valeurs acquises aient été utilisés. Le système de gestion des transferts fournit alors une impulsion de remise à zéro.

Les fonctions et le système décrits ci-dessus peuvent être intégrés dans un circuit ASIC. Autrement dit, à chaque photodétecteur du réseau de N photodétecteurs, est associé un circuit ASIC.

L'ASIC numérique de chaque photodétecteur peut comporter ou assurer les fonctions suivantes : intégration, détection du maximum, entrées des photodétecteurs voisins, sortie vers les photodétecteurs voisins, comparateurs, registres de stockage, séquençement, dispositif de calcul des ou d'une grandeur(s) caractéristique(s) d'un événement, dispositif de lecture.

L'ASIC numérique peut en outre comporter les fonctions suivantes :

- multiplication de gain,
- correction de ligne de base,
- gestion des événements saturants.

Afin d'évaluer la complexité de l'ASIC numérique associé à chaque photodétecteur, c'est-à-dire

son nombre de portes élémentaires, sa surface et son nombre de plots d'entrées/sorties, on peut étudier ses composants qui requièrent le plus de portes. Ce sont principalement :

- 5 • les registres,
- les additionneurs,
- les compteurs,
- les multiplexeurs,
- les multiplieurs et diviseurs (pour le barycentre).
- 10 Tous ces composants sont constitués de cellules de base que sont :
 - la bascule D,
 - l'additionneur 1 bit (cellule FA détaillée plus loin),
 - 15 • le multiplexeur 2 bits vers 1 bit.

Ce à quoi il faut ajouter la logique combinatoire environnante.

La bibliothèque MHS donne le nombre de portes logiques équivalent à chacune de ces cellules de base.

20 Ainsi :

- une bascule D simple horloge ("Single-clock D flip flop" : DFF) comprend 5 portes,
- un additionneur 1 bit (FA) comprend 9 porte,
- un multiplexeur 2 vers 1 (MUX2) comprend 3 portes.

25 Un additionneur de 2 nombres de n bits nécessite n cellules FA ("Full Adder", constituée de 9 portes).

30 Du point de vue du nombre de portes, un soustracteur est à considérer comme équivalent à un additionneur.

Pour multiplier un nombre de n bits par un nombre de m bits, avec $n > m$, un multiplieur comprend $n \cdot (m-1)$ cellules FA. A titre d'exemple, un multiplieur

parallèle 13x13 bits de la bibliothèque ES2 a un temps de calcul de 36.8 ns pour une surface occupée de 0,78 mm², ce qui est amplement suffisant pour les performances envisagées ici.

5 Le schéma de la figure 14 donne un aperçu schématique de la façon dont sont agencées les entités d'intégration et de commande (les moyens 188 de la figure 12).

 Le sommateur glissant est détaillé sur la figure 14, la partie assurant le multiplexage de la sortie est détaillée sur la figure 15.

 Le sommateur comporte un registre à décalage à N bascules D₁, ..., D_N et un sommateur. Le soustracteur 220 permet de calculer l'écart entre l'entrée et la
15 sortie du registre à décalage.

 L'additionneur 221 accumule ces écarts dans le registre 223. Un circuit de détection de ligne de base 222 composé d'un comparateur et d'un registre à décalage pilote un registre de stockage 225 De la ligne
20 de base. Celle-ci est alors soustraite par le soustracteur 226 à la valeur courante de la somme glissante. Les moyens 224 qui assurent la détection des événements et la notion de validité sont essentiellement composés d'une détection de maximum,
25 réalisée à l'aide d'un comparateur, suivi d'un registre à décalage nécessaire pour synchroniser le signal événement avec la sortie de l'intégrale correspondante.

 Le sommateur glissant est composé d'un registre à décalage (10 registres à 8 bits soit 10*8=80 bascules
30 D), d'un registre de 12 bits (12 bascules D), d'un sommateur sur 12 bits et d'un soustracteur sur 8 bits, soit (12+8)=20 cellules FA.

 Le sommateur comprend donc 92 DFF et 20 FA.

- La détermination de la ligne de base requiert une logique de comparaison et un registre à décalage de 16 bits avec remise à zéro, soit 16 DFF.

Il faut rajouter le registre d'offset 12 bits et le soustracteur 12 bits, ce qui correspond à 12 DFF et 12 FA.

La partie multiplexage de la sortie peut se schématiser comme illustré en figure 15.

Elle comporte 2 registres de 12 bits, (24 DFF),
1 multiplexeur à 6 entrées de 12 bits, et 1
multiplexeur à 8 entrées de 12 bits.

Or, pour faire un MUX à 6 entrées, on a besoin de 5 MUX à 2 entrées. De même, il faut 7 MUX à 2 entrées pour faire un MUX à 8 entrées.

Donc au total il faut $(7+8)*12=180$ MUX2.

En résumé, l'entité d'intégration et de multiplexage comprend :

- 144 DFF, soit $144*5=720$ portes,
- 32 FA, soit $32*9=288$ portes,
- 180 MUX2, soit $180*3=540$ portes.

Ce qui porte le nombre de portes à un total d'environ 1600 portes, en comptant la logique combinatoire environnante.

L'entité de commande (92, 192 sur les figures 7 et 12) comprend, notamment :

- 4 comparateurs 8 bits (soit environ $4*8*5=160$ portes).
- Un compteur de 10 bits et un de 6 bits, soit 16 DFF, donc 80 portes,
- si l'on rajoute toute la logique de séquençement, on peut évaluer l'entité commande à 300 portes.

L'entité de comparaison (190-1, ..., 190-6 sur la figure 11) comporte :

- 6 comparateurs 12 bits, soit 360 portes,
- 19 registres de 12 bits pour le stockage des
- 5 énergies, soit 228 FFD dont 1200 portes.

En ce qui concerne l'entité de calcul du barycentre, on a déjà vu que ce calcul peut se faire en appliquant les formules (1), (2) et (3), (4) ci-dessus.

10 La structure de calcul comprend donc :

- un multiplieur 12×4 bits, soit 36 FA,
- un registre 14 bits, soit 14 DFF,
- un sommateur 14 bits, soit 14 Fa,
- il faut 3 autres sommateurs 14 bits pour obtenir la
- 15 somme des 18 valeurs, soit 42 FA,
- un registre de stockage du résultat sur 14 bits (X' ou Y'), soit 14 DFF.

Cette structure est à répéter deux fois puisqu'il y a deux coordonnées, donc au total on a :

- 20 • 384 FA, soit 3460 portes,
 - 112 DFF, soit 560 portes,
- donc 4000 portes.

On a ainsi besoin de deux multiplieurs parallèles, un 14×13 bits et un 14×6 bits, ce qui

25 représente 238 FA.

Il faut un registre de 27 bits et un de 20 bits pour stocker les résultats, soit 47 DFF. Cela donne au total 2400 portes.

Il reste à diviser ces nombres par l'énergie

30 totale, pour obtenir les coordonnées finales. Pour cela, on peut se contenter d'effectuer une division séquentielle en 9 coups d'horloge. A cette fin, on peut

évaluer que, pour diviser 27 bits par 14 bits et obtenir 9 bits, on a besoin de :

- 1 registre 27 bits avec 27 MUX2,
- 1 registre 14 bits,
- 5 • 1 registre 9 bits,
- 1 soustracteur 14 bits.

Ceci équivaut à 50 DFF, 14 FA et 27 MUX2, soit au total environ 500 portes.

Il faut deux diviseurs au total, ce qui fait
10 1000 portes.

L'entité de "transfert" 196 (figure 11) nécessite trois registres pour stocker X, Y et E, soit deux registres de 9 bits et 1 de 14 bits, ce qui équivaut à 32 DFF, soit 160 portes. Si l'on ajoute la
15 logique de séquençement, on peut évaluer l'entité à 200 portes.

L'ASIC est ainsi évalué à 11000 portes. Dans la technologie de 0,7 μm , le nombre de portes par mm^2 est d'environ 1400 portes/ mm^2 . On peut donc évaluer la
20 surface occupée par les portes à 8 mm^2 , soit environ 3 $\text{mm} \times 3 \text{ mm}$.

Un boîtier de 140 pattes peut être utilisé.

L'invention décrite s'applique à une gamma-
25 caméra telle que décrite dans l'introduction à la demande, en liaison avec la figure 1. Elle s'applique avantagement à la mise en oeuvre des techniques de "correction d'atténuation par transmission" et de "PET (Position Emission Tomography) en coïncidence, déjà
30 décrites dans l'introduction à la présente demande.

L'invention a été décrite en utilisant l'intégrale numérique comme signal représentatif de

l'intensité de chaque signal provenant de chaque photodétecteur.

En fait, on peut aussi utiliser, à la place de l'intégrale numérique, l'intensité au maximum du signal numérique ou du signal analogique. Cependant, l'intégrale numérique est la quantité qui convient le mieux à la mise en oeuvre de l'invention.

Si on veut mettre en oeuvre un dispositif dans lequel l'intensité au maximum du signal numérique ou du signal analogique est choisie en tant que quantité représentative de l'intensité de chaque signal provenant de chaque photodétecteur, il suffit de remplacer, dans la chaîne de détection associée à chaque photodétecteur, les moyens pour calculer une intégrale numérique par des moyens pour détecter un maximum numérique ou analogique. La gestion des données obtenues (comparaison, mémorisation) se fait ensuite de la même manière que décrite ci-dessus.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de traitement de signaux produits par un ensemble de N photodétecteurs en réponse à un événement à détecter, comportant :
- 5 - la comparaison, pour chaque photodétecteur, d'un signal représentatif de l'intensité du signal numérisé obtenu à partir du signal émis, avec une valeur seuil,
 - la comparaison, pour chaque photodétecteur émettant
10 un signal dont l'intensité dépasse ledit seuil, de l'intensité du signal qu'il émet avec l'intensité du signal émis par chacun des photodétecteurs voisins, dits de première couronne,
 - la mémorisation de la valeur de l'intensité maximum
15 parmi toutes les intensités comparées, ainsi que des intensités des signaux émis par les photodétecteurs voisins du photodétecteur dont le signal présente l'intensité maximum.

2. Procédé selon la revendication 1, le signal
20 représentatif de l'intensité du signal numérisé étant soit une intégrale numérique du signal numérisé, soit l'intensité au maximum du signal numérisé, soit l'intensité au maximum du signal analogique.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, au
25 moins un signal, représentatif d'une grandeur caractéristique de l'événement, étant produit à l'aide des intensités mémorisées.

4. Procédé selon la revendication 3, un signal
représentatif de l'énergie de l'événement étant
30 produit.

5. Procédé selon la revendication 3, un signal
représentatif de la position de l'événement par rapport
à l'ensemble des N photodétecteurs étant produit.

6. Procédé selon la revendication 3, au moins deux signaux représentatif des coordonnées barycentriques de l'événement par rapport à l'ensemble des N photodétecteurs étant produit.

5 7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, un signal d'événement étant émis, pour chaque photodétecteur, lorsque le signal représentatif de l'intensité du signal numérique est formé.

8. Procédé selon la revendication 7, 10 l'intensité du signal numérique étant représentée par son intégrale numérique, celle-ci étant calculée sur un certain nombre de pas d'horloge, à partir du maximum du signal numérique, et le signal d'événement étant émis un certain nombre de pas d'horloge après le passage par 15 le maximum.

9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, comportant en outre une étape de détection et de rejet d'événements saturants et/ou d'empilements d'événements.

20 10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 9, comportant en outre une étape de calcul et de mémorisation des intensités des photodétecteurs dits de deuxième couronne.

11. Procédé selon l'une des revendications 3 à 25 6 et selon la revendication 10, le signal représentatif d'une grandeur caractéristique de l'événement étant produit à l'aide des intensités mémorisées des photodétecteurs de première et deuxième couronnes.

12. Procédé pour identifier une caractéristique 30 d'un événement se produisant devant un ensemble de N photodétecteurs, comportant :

- l'identification d'un sous-ensemble de N_1 photodétecteurs, concernés par l'interaction, c'est-

à-dire ayant produit un signal en réponse à l'événement,

- la production d'un signal représentatif de la caractéristique de l'événement, en fonction des intensités :

* du signal d'intensité maximum parmi les N_1 signaux produits par les N_1 photodétecteurs, en réponse à l'événement,

* et des signaux émis par les photodétecteurs voisins (dits de première couronne) du photodétecteur dont le signal présente l'intensité maximum parmi les N_1 photodétecteurs.

13. Procédé selon la revendication 12, la caractéristique étant l'énergie de l'événement.

14. Procédé selon la revendication 12, la caractéristique étant la position de l'événement par rapport à l'ensemble de N photodétecteurs.

15. Procédé selon la revendication 14, la position étant repérée par un couple de coordonnées barycentriques.

16. Procédé selon la revendication 12, le signal représentatif de la caractéristique d'un événement étant produit en fonction, en outre, des intensités des photodétecteurs de deuxième couronne.

17. Procédé selon l'une des revendications 12 à 16, l'intensité du signal produit par chaque photodétecteur étant soit une intégrale numérique du signal numérisé, soit l'intensité au maximum du signal numérisé, soit l'intensité au maximum du signal analogique.

18. Dispositif pour le traitement de signaux produits par un ensemble de N photodétecteurs, comportant :

- des moyens pour comparer, pour chaque photodétecteur, l'intensité d'un signal émis avec une valeur seuil,
- des moyens pour comparer, pour chaque photodétecteur émettant un signal dont l'intensité dépasse ledit
5 seuil, l'intensité du signal qu'il émet avec l'intensité d'un signal émis par chacun des photodétecteurs voisins,
- des moyens pour mémoriser la valeur de l'intensité maximum parmi toutes les intensités, ainsi que les
10 intensités des signaux émis par les photodétecteurs voisins du photodétecteur dont le signal présente l'intensité maximum.

19. Dispositif selon la revendication 18, comportant en outre des moyens pour produire un signal
15 représentatif d'une grandeur caractéristique d'un événement à l'aide des intensités.

20. Dispositif selon la revendication 19, au moins un signal représentatif de l'énergie de l'événement, ou de la position ou des coordonnées
20 barycentriques de l'événement par rapport à l'ensemble de N photodétecteurs, étant produit.

21. Dispositif selon l'une des revendications 18 à 20, comportant en outre des moyens pour émettre un signal d'événement, pour chaque photodétecteur, lorsque
25 l'intensité est calculée.

22. Dispositif selon la revendication 21, comportant des moyens pour détecter le passage du signal par son maximum et pour émettre le signal d'événement un certain temps après le passage par le
30 maximum.

23. Dispositif selon l'une des revendications 18 à 22, comportant en outre des moyens de détection et

de rejet d'événement saturants et/ou d'empilements d'événements.

24. Dispositif selon l'une des revendications 18 à 23, comportant des moyens de calcul et de
5 mémorisation des intensités des photodétecteurs de deuxième couronne.

25. Dispositif selon l'une des revendications 19 ou 20 et selon la revendication 24, le signal
représentatif d'une grandeur caractéristique de
10 l'événement étant produit à l'aide des intensités des photodétecteurs de première et deuxième couronnes.

26. Dispositif selon l'une des revendications 18 à 24, comportant soit des moyens pour calculer une
intégrale numérique du signal émis par chaque
15 photodétecteur, soit des moyens pour identifier l'intensité au maximum d'un signal numérique correspondant au signal émis par chaque photodétecteur, ou pour identifier l'intensité au maximum du signal analogique émis par chaque photodétecteur.

20 27. Dispositif pour identifier une grandeur caractéristique d'un événement se produisant devant un ensemble de photodétecteurs, comportant :

- des moyens pour identifier un sous-ensemble de N_1
25 photodétecteurs, ayant produit un signal en réponse à l'événement,
- des moyens pour produire un signal représentatif de la grandeur caractéristique de l'événement, en fonction des intensités :
 - * du signal d'intensité maximum parmi les N_1
30 signaux, produits par les N_1 photodétecteurs en réponse à l'événement,
 - * des signaux émis par les photodétecteurs voisins, dits de première couronne, du photodétecteur dont

le signal présente l'intensité parmi les N_1 photodétecteurs.

28. Dispositif selon la revendication 27, la grandeur caractéristique étant l'énergie de l'événement.

29. Dispositif selon la revendication 27, la grandeur caractéristique étant la position de l'événement par rapport à l'ensemble de N photodétecteurs.

30. Dispositif selon la revendication 28, la position étant repérée par un couple de coordonnées barycentriques.

31. Dispositif selon l'une des revendications 27 à 30, l'intensité de chaque signal produit par chaque photodétecteur étant soit une intégrale numérique de chaque signal, soit l'intensité au maximum du signal numérique correspondant, soit l'intensité au maximum du signal analogique.

32. Dispositif selon l'une des revendications 19 ou 27, les moyens pour produire un signal représentatif d'une grandeur caractéristique étant propres à chaque photodétecteur.

33. Dispositif selon l'une des revendications 19 ou 27, les moyens pour produire un signal représentatif d'une grandeur caractéristique étant communs à l'ensemble des photodétecteurs.

34. Dispositif pour la détection d'événements comportant :

- un réseau bi-dimensionnel de N photodétecteurs,
- un dispositif selon l'une des revendications 18 à 33.

35. Caméra comportant un dispositif pour la détection d'événements selon la revendication 34, les photodétecteurs étant des photomultiplicateurs.

36. Dispositif d'imagerie en rayonnement gamma, comportant une caméra selon la revendication 35.

37. Dispositif selon l'une des revendications 18 à 33, les fonctions de détection de l'intensité du signal émis par chaque photodétecteur, de comparaison avec les photodétecteurs voisins, de mémorisation et/ou de production d'un signal représentatif d'un événement étant assurées par un ASIC associé à chaque photodétecteur.

10

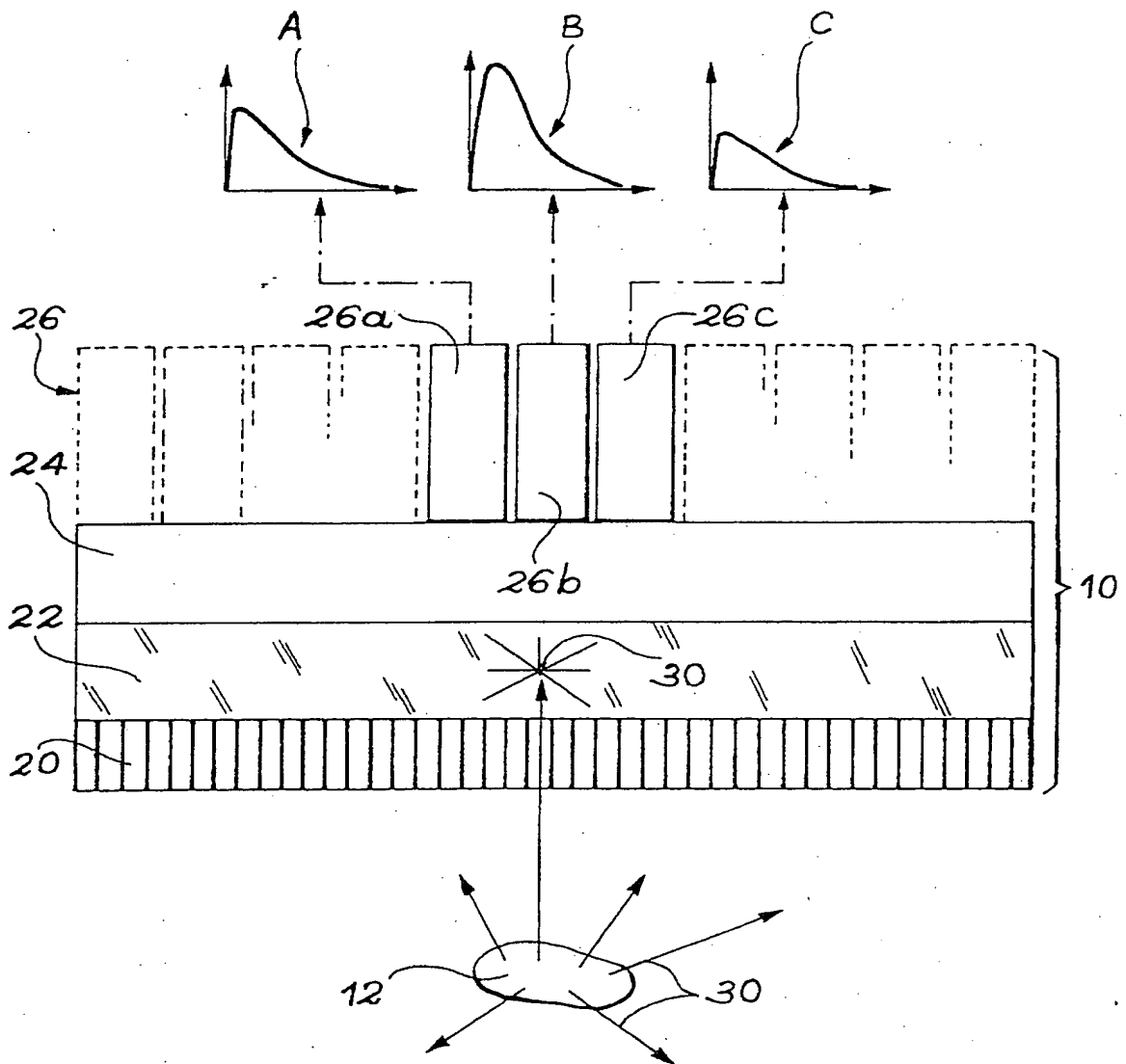


FIG. 1

2/10

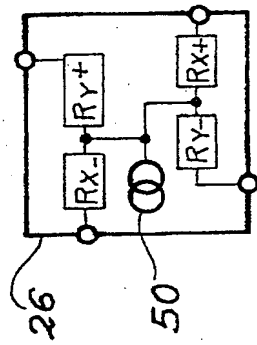


FIG. 2B

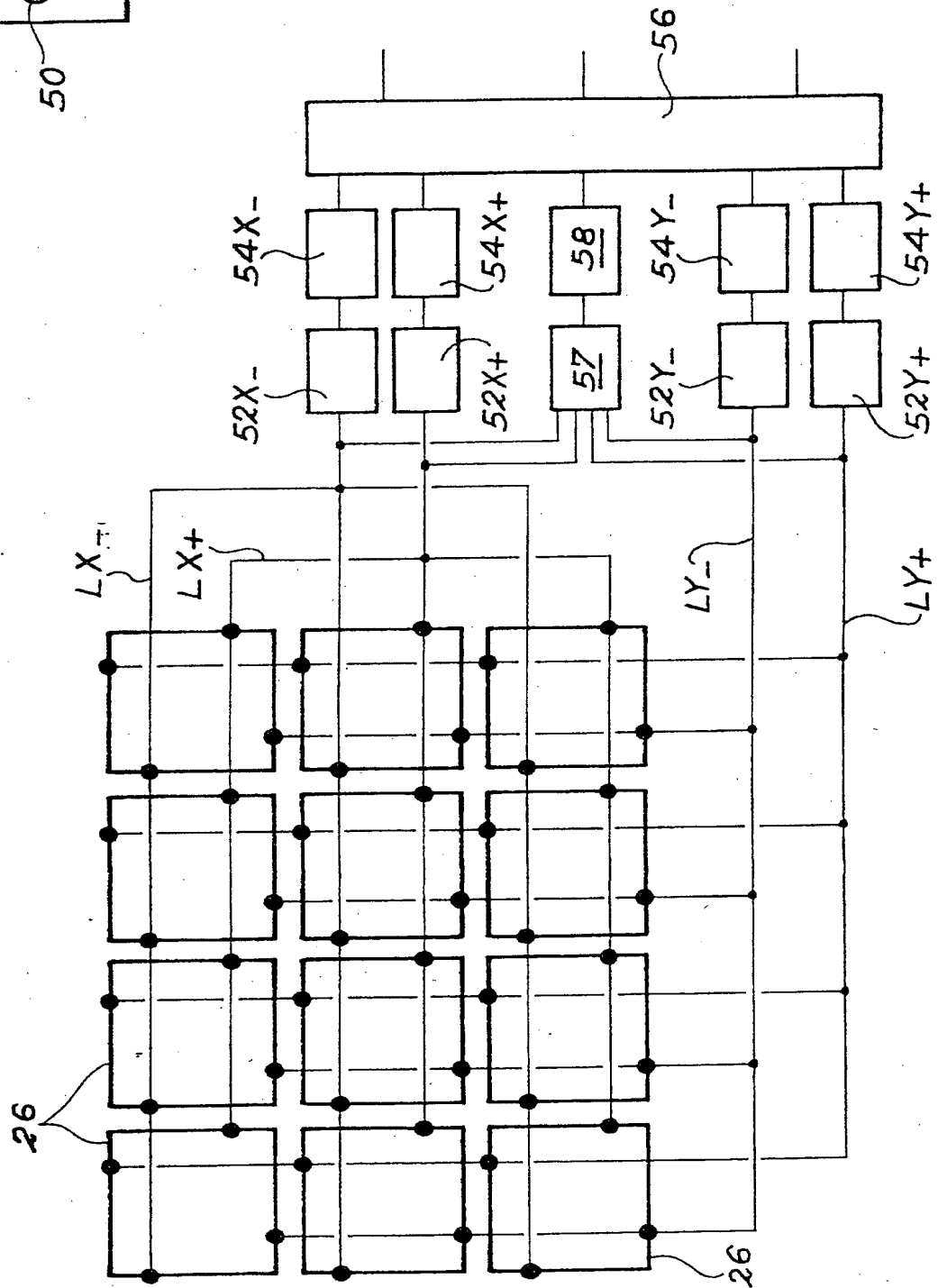


FIG. 2A

3/10

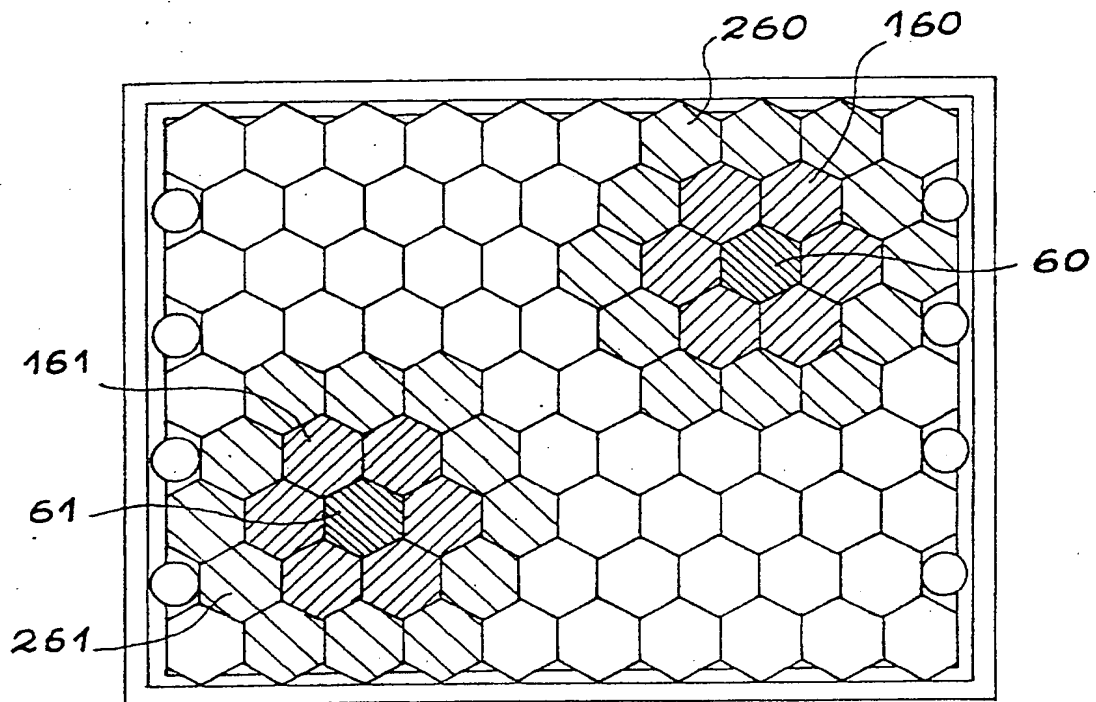


FIG. 3A

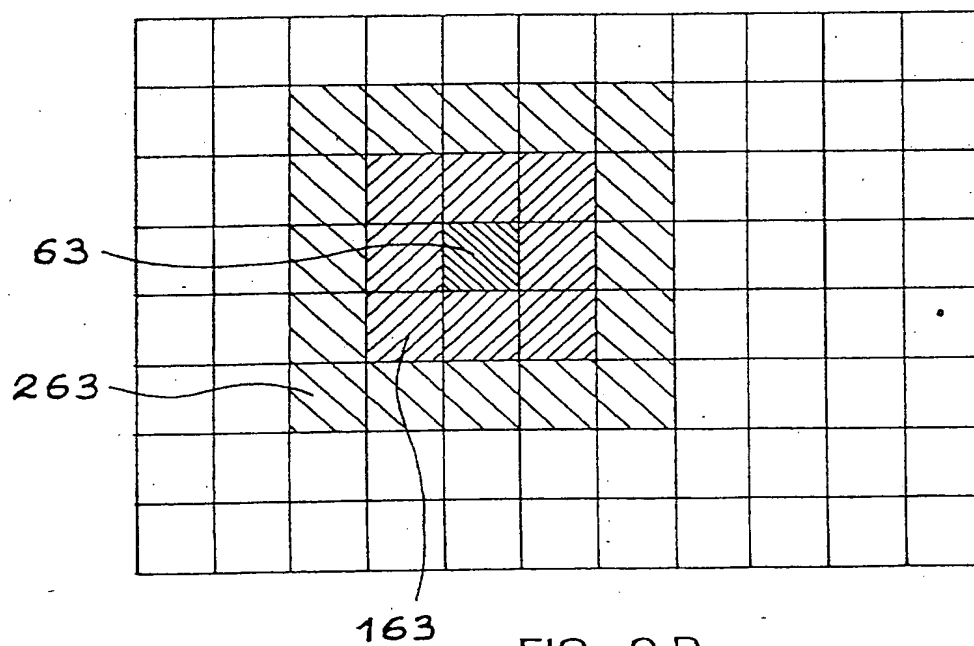


FIG. 3B

4/10

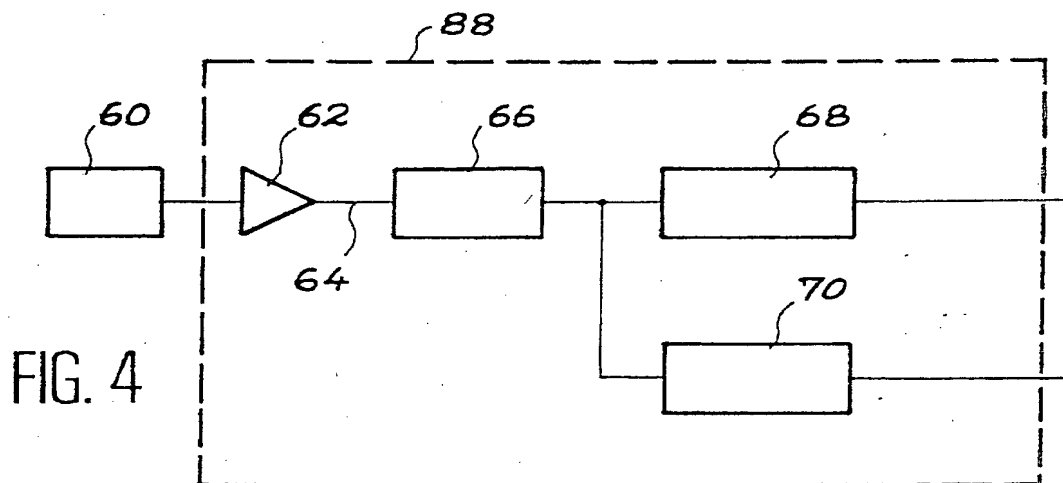


FIG. 5A

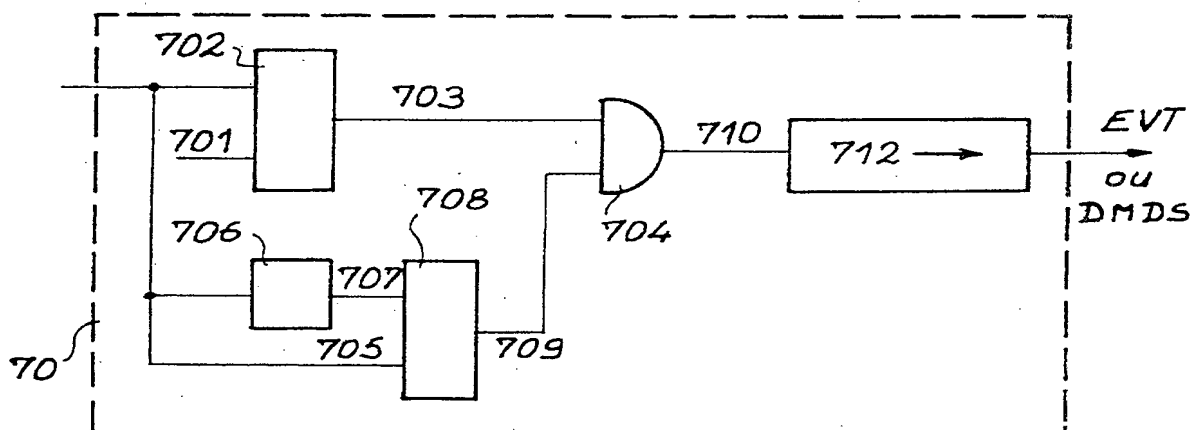
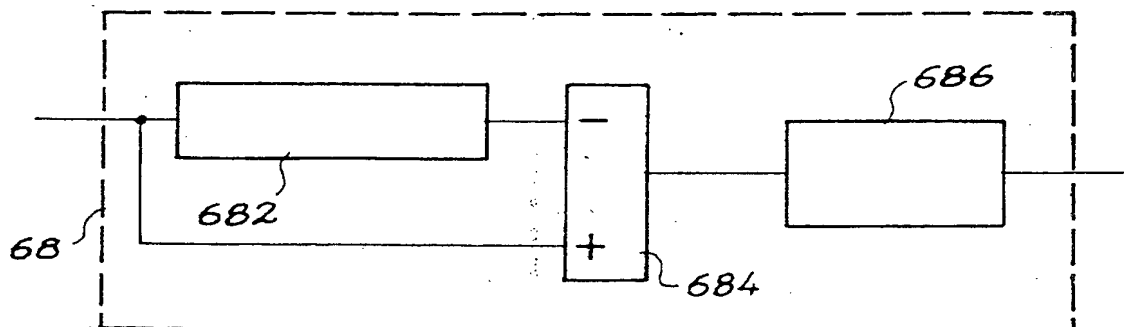


FIG. 5B



5/10

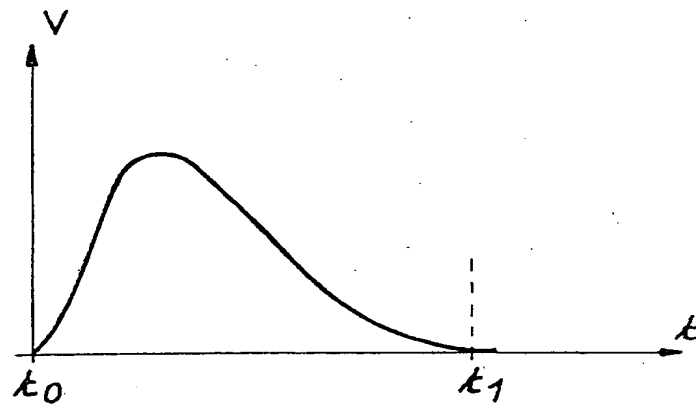


FIG. 6A

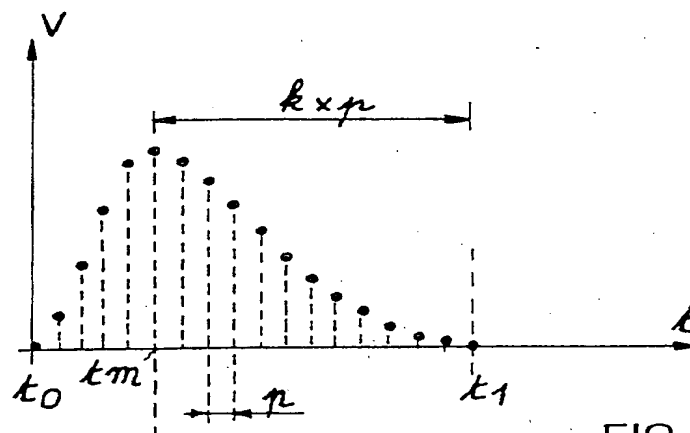


FIG. 6B

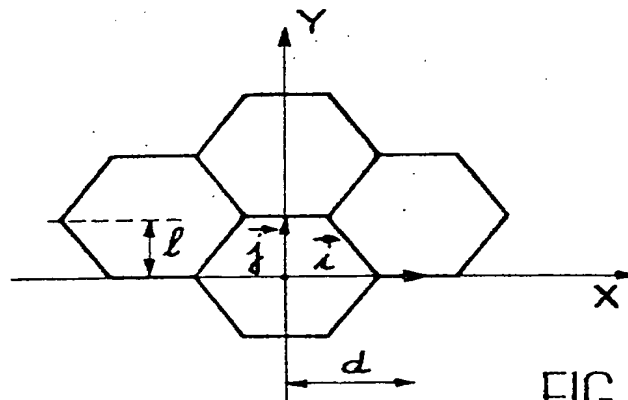


FIG. 8

6/10

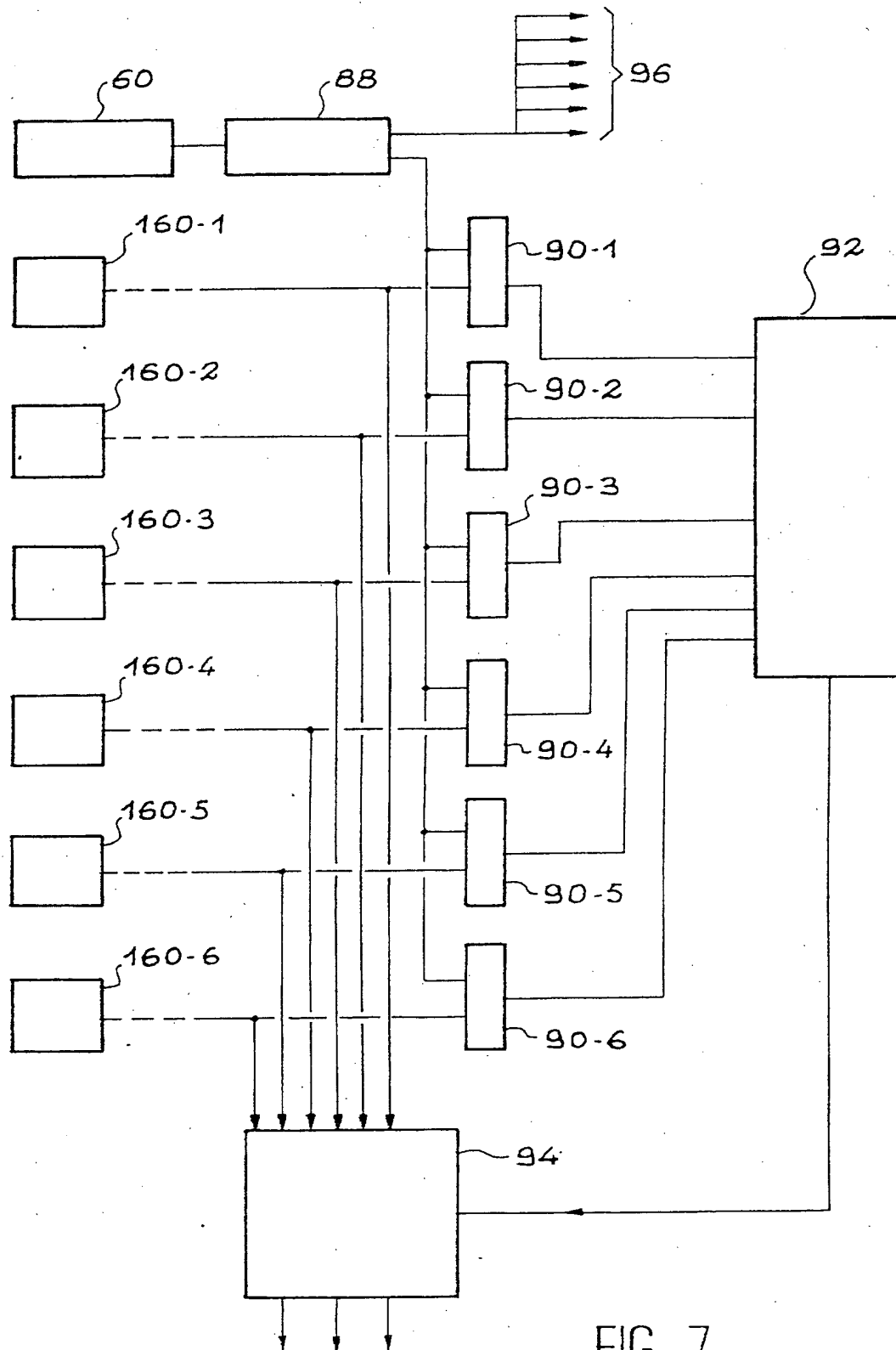


FIG. 7

7/10

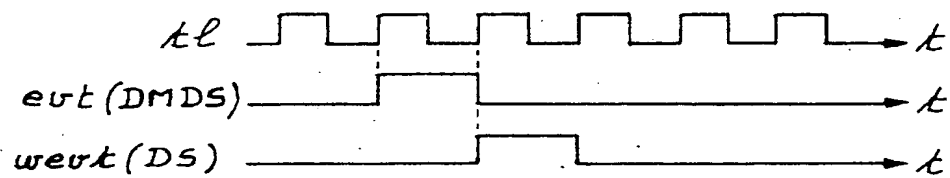
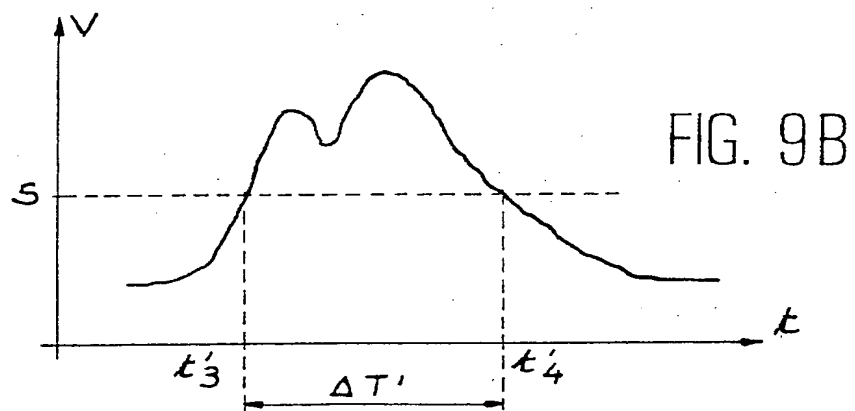
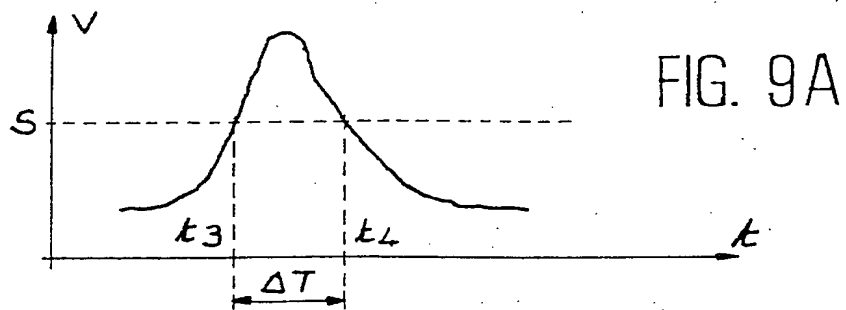


FIG. 10

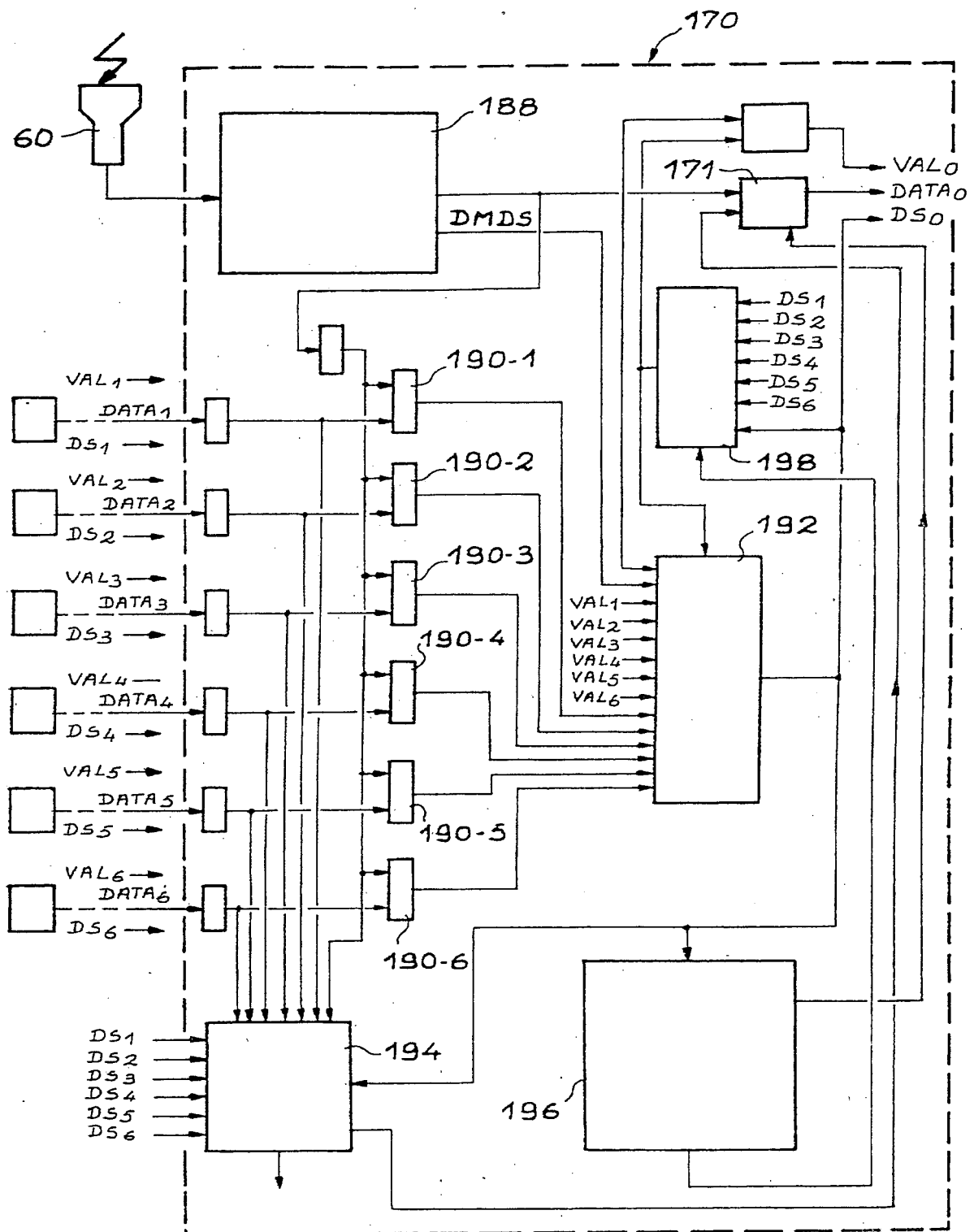
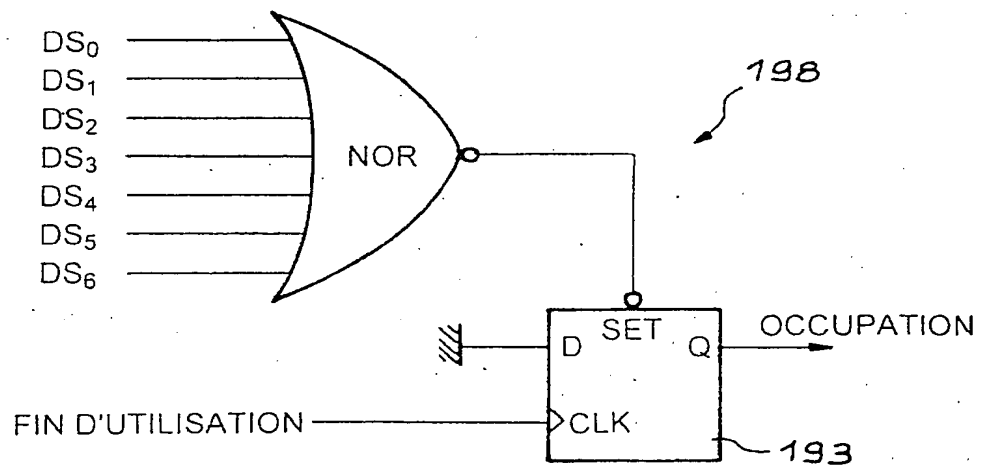
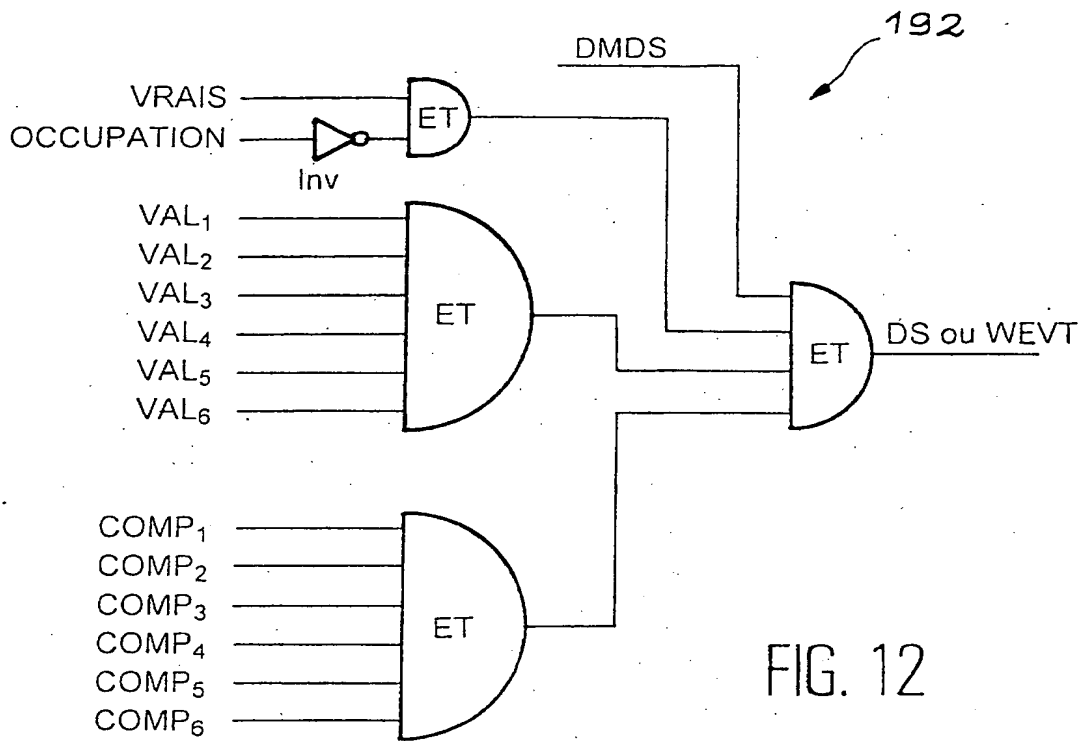
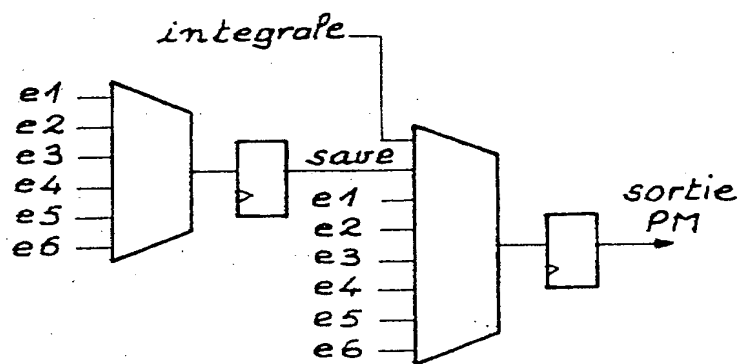
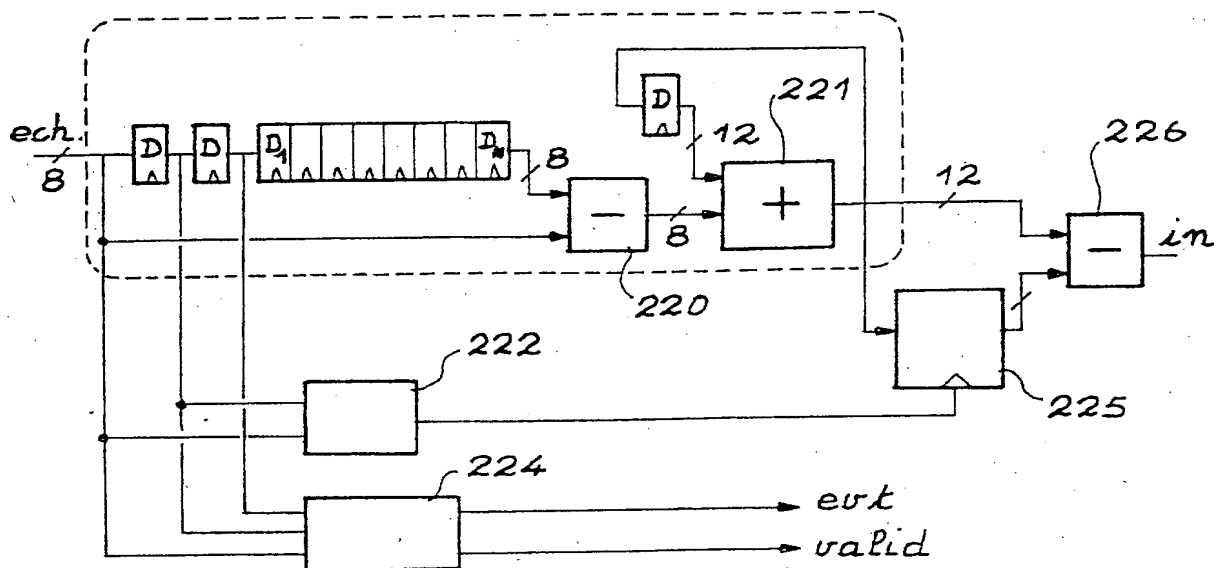


FIG. 11

9/10





INSTITUT NATIONAL

RAPPORT DE RECHERCHE
PRELIMINAIRE

de la

PROPRIETE INDUSTRIELLE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la rechercheFA 535230
FR 9613670

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 012, no. 008 (P-654), 12 janvier 1988 & JP 62 167493 A (SHIMADZU CORP), 23 juillet 1987, * abrégé *	1-7, 12-15, 18-22, 27-36
Y	EP 0 637 759 A (HAMAMATSU PHOTONICS KK) 8 février 1995 * page 6, ligne 9 - page 8, ligne 1 *	1,3-7, 12-15, 18-21, 27-30, 32-36
Y	US 5 446 287 A (SCHRECK ZOLTAN) 29 août 1995 * colonne 1, ligne 50 - colonne 3, ligne 45 *	2,22,31
A	US 4 860 205 A (JATTEAU MICHEL R) 22 août 1989 * colonne 6, ligne 47 - colonne 15, ligne 10 *	1-37
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. CL.6)
		G01T
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
7 juillet 1997		Materne, A
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>		

